



УДК 621.1

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ НОВОГО ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ПАРОСТРУЙНОГО МНОГОСТУПЕНЧАТОГО ЭЖЕКТОРА С ВЫНОСНЫМИ ОХЛАДИТЕЛЯМИ

DESIGN FEATURES OF NEW HIGH-EFFICIENT STEAM-DRIVEN MULTISTAGE EJECTOR WITH EXTERNAL INTERCOOLERS

Мурманский Илья Борисович, аспирант каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: i.b.murmansky@urfu.ru, Тел.: +7(922)1700119

Купцов Валерий Константинович, старший научный сотрудник каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: lta_ugtu@mail.ru, Тел.: +7(343)3002562

Желонкин Николай Владимирович, к.т.н., старший научный сотрудник, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: lta_ugtu@mail.ru, Тел.: +7(343)3002562

Аронсон Константин Эрленович, д.т.н., профессор каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: lta_ugtu@mail.ru, Тел.: +7(343)3002562

Ilya B. Murmanskii, Ph.D student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: i.b.murmansky@urfu.ru. Ph.: +7(922)1700119

Valerii K. Kuptsov, senior researcher, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lta_ugtu@mail.ru. Ph.: +7(343)3002562

Nikolay V. Zhelonkin, candidate of technical sciences, senior researcher, associate professor, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lta_ugtu@mail.ru. Ph.: +7(343)3002562

Konstantin E. Aronson, doctor of technical sciences, professor, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lta_ugtu@mail.ru. Ph.: +7(343)3002562

Аннотация: Для повышения эффективности работы применяемых в схемах паротурбинных установок, многоступенчатых эжекторов разработан ряд конструкторских решений. Разработаны следующие основные технические решения: вертикальные выносные промежуточные охладители с U-образными трубками, компоновка элементов многоступенчатого эжектора, возможность оптимизации характеристики эжектора с помощью изменения расстояния между соплом и диффузором. Предложенные конструкторские решения применены и успешно апробированы в пароструйном эжекторе ЭПО-3-80, установленном и функционирующем на станции Сургутская ГРЭС-1.

Abstract: A range of design solutions for increasing the efficiency of multistage ejectors, applied in the steam turbine schemes, is developed. Following technical solutions are developed: vertical intercoolers with external U-tube bundles, multistage ejector elements configuration, possibility of the ejector performance optimizing by nozzle exit position changing. Suggested design solutions are successfully implemented in the ejector EPO-3-80, which is installed and is functioning at the Surgutskaya GRES-1 power plant.

Ключевые слова: эффективность; надёжность; эжектор; конденсационная установка; паровая турбина.

Key words: efficiency; reliability; ejector; condensation system; steam turbine.

Одним из основных элементов конденсационной установки паровой турбины являются основные эжекторы, удаляющие неконденсирующиеся газы из части низкого

давления турбины и поддерживающие низкое давление в конденсаторе. Существующие серийные эжекторы, установленные в схемах конденсационных установок, разработаны по

методикам, созданным в 1970х годах и не соответствуют современным требованиям эксплуатации.

Известны пароструйные трёхступенчатые эжекторы различных заводов изготовителей (Ленинградского металлического завода, Уральского турбинного завода, Харьковского турбогенераторного завода, Калужского турбинного завода), такие как ЭП-3-700, ЭП-3-3, ЭП-3-25/75 и другие [1]. Во всех перечисленных конструкциях эжекторов ступени, состоящие из струйных аппаратов и промежуточных охладителей, выполняются в одном цельном корпусе и разделены промежуточными перегородками. Одним из основных недостатков данной конструкции являются перетечки паровоздушной смеси из зон с повышенным давлением в зоны с меньшим давлением, что уменьшает эффективность работы эжектора.

Для предотвращения перетечек было принято решение о разработке конструктивного решения, при котором каждый охладитель изолирован в отдельном корпусе. Подобное решение было реализовано Уральским турбинным заводом в конструкции эжектора ЭПО-3-135, который функционирует в составе теплофикационных турбин УТЗ. Охладители эжектора ЭПО-3-135 выполнены в отдельных корпусах и установлены под наклоном. При этом, конструкция эжектора ЭПО-3-135 также имеет некоторые недостатки. В частности, из-за наклонной конструкции охладителей, переходные патрубки имеют зоны, где застаивается конденсат, из-за чего высока опасность повышенного коррозионно-эрозионного износа. Данный дефект может приводить к появлению мест присосов воздуха в эжектор. Кроме того, недостатком эжектора ЭПО-3-135 является то, что в охладителях эжектора применяются прямые трубки, в которых могут возникать повышенные термические напряжения при работе в среде высоких температур (2 и 3 ступени) [1].

Для устранения всех вышеперечисленных проблем, влияющих на эффективность и надёжность функционирования многоступенчатых эжекторов, разработан проект эжектора с вертикальными выносными охладителями. Эскиз конструкции представлен на рис 1. Конструкция включает в себя корпуса струйных аппаратов и выносных охладителей трёх ступеней, соединённых переходными патрубками, а также блок водяных камер выносных охладителей и трубопровод подвода рабочего пара к каждой ступени.

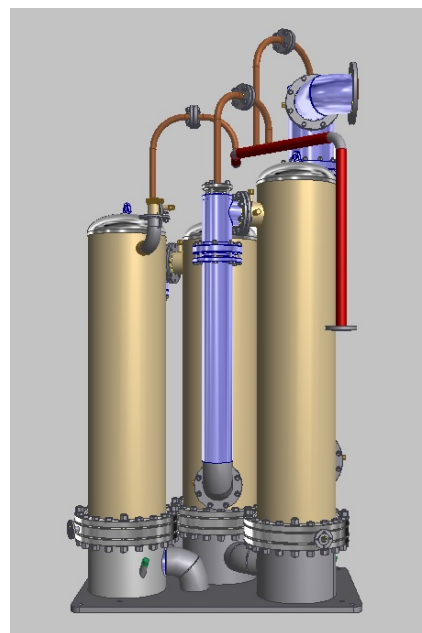


Рис. 1. Модель многоступенчатого эжектора с вертикальными выносными охладителями

Для удобства компоновки эжектора в помещениях турбинных цехов существующих энергоблоков (для компактности эжектора), промежуточные охладители расположены триангулярно относительно друг друга. Расположение охладителей представлено на рис. 2.

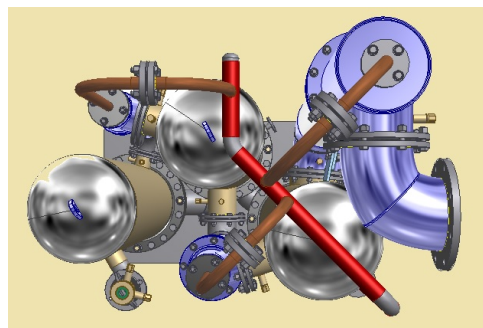


Рис. 2. Триангулярная компоновка промежуточных охладителей эжектора

Охладители выполнены с равными диаметрами для унификации деталей и увеличения ремонтопригодности эжектора. В охладителях эжектора используются U-образные трубки, что исключает возможность накопления термических напряжений из-за тепловых расширений труб.

Поворотный переходный патрубок обеспечивает минимальное газодинамическое сопротивление, надёжность и долговечность конструкции, исключает накопление конденсата и эрозионный износ патрубка.

При разработке нового эжектора в его конструкции реализован специальный узел

закрепления сопла для возможности изменения осевого расстояния между основными элементами струйных аппаратов: соплами и диффузорами. Подобный узел необходим для наладки работы эжектора во время его работы, что позволяет улучшить характеристики эжектора. Для изменения положения сопла, от пароструйного аппарата отсоединяется трубопровод подвода рабочего пара, снимается крышка, под которой находится сопло, зажатое между дистанционирующими кольцами. За счет переустановки дистанционирующих колец можно менять положение сопла по оси пароструйного аппарата. Конструкция устройства показана на рис 3. Для извлечения сопла и дистанцирующих колец разработано специальное устройство.

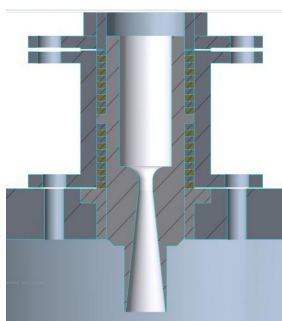


Рис. 3. Способ закрепления сопла в корпусе струйного аппарата эжектора

Для апробации комплекса новых технических решений, изготовлен и установлен на энергоблоке с турбиной К-200-130 Сургутской ГРЭС-1 пароструйный многоступенчатый эжектор ЭПО-3-80. Расчёт эжектора произведён согласно методике конструкторского расчёта [2]. Проведены испытания эжектора, получена его характеристика и оптимизировано расстояние между соплом и диффузором. По результатам разработки и промышленных испытаний эжектора на станции, показано, что:

1. Благодаря разработанному узлу закрепления сопла появляется возможность изменять расстояние между соплом и диффузором и настраивать эжектор на конкретные условия работы;
2. Конструкторское исполнение нового эжектора позволяет включать его в схему существующих энергоблоков без проведения значительных монтажных работ;
3. Реализованные конструктивные решения оказали положительное влияние на эффективность нового эжектора, что подтверждается характеристикой его работы. На рис. 4 представлено сравнение характеристики эжектора ЭПО-3-80 с известными пароструйными эжекторами. Характеристика эжектора представляет собой зависимость давления на входе в эжектор от количества присасываемого воздуха.

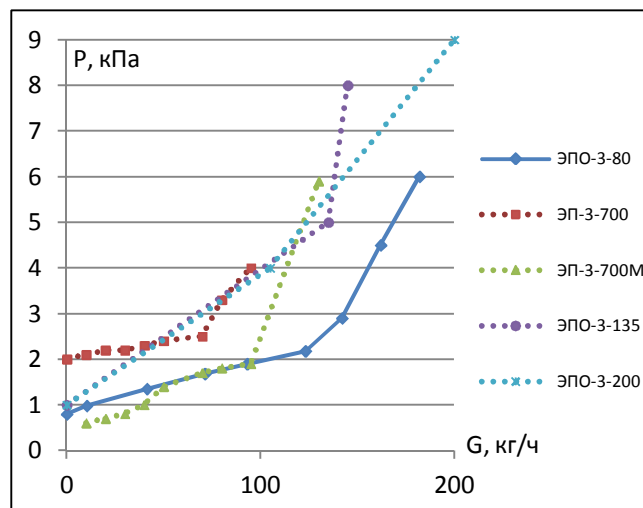


Рис. 4. Сравнение характеристик пароструйных многоступенчатых эжекторов

Как видно из рис., давление присасываемого воздуха на входе разработанного эжектора значительно ниже, чем у большинства серийных эжекторов. В пределах рабочей характеристики эжектора (количество присасываемого воздуха ≤ 140 кг/ч) давление воздуха на входе в эжектор не превышает 3 кПа, что позволяет поддерживать нормативное давление в конденсаторах при значительных присосах воздуха в вакуумную систему турбины. Рабочие характеристики серийных эжекторов соответствуют 70-100 кг/ч присасываемого воздуха при более высоком давлении всасывания. Таким образом, разработанный эжектор ЭПО-3-80 имеет высокую производительность и повышенную эффективность в части давления на входе в эжектор.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о высокой эффективности разработанных и апробированных конструкторских решений нового эжектора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент на полезную модель «Пароструйный трёхступенчатый эжектор». Заявка №2016119824 от 23.05.2016.
2. Патент на Программный комплекс для ЭВМ «Конструкторский и поверочный расчёт пароструйных эжекторов» №2016611885. Дата регистрации: 20 февраля 2016 года.